不同种源桃金娘表型性状多样性研究

刘 舒[1]，马正兵[2*]，于晓丽[1]，何易[1]

（1. 惠州学院 生命科学学院，广东 惠州 516000；2. 惠阳区林业科技推广站，广东 惠州 516211）

摘　要：为解析桃金娘表型性状多样性及其种源间关系，本文以 20 个不同来源的桃金娘为研究对象，在同质园栽培条件下，对其营养器官和花器官表型性状进行观测，并采用方差分析，变异分析、Shannon-Wiener 多样性指数分析和聚类分析等方法，探讨了不同种源桃金娘表型性状多样性。结果表明：（1）不同种源桃金娘表型性状存在显著差异（ $P<0.05$ ），Shannon-Wiener 多样性指数均值在 1.35 以上，表型性状多样性丰富。（2）种源内表型性状变异系数均值在 10.81%～63.75%，种源间的变异系数均值为 13.08%～74.04%，种源间变异（23.33%）高于种源内变异（19.79%），营养器官变异（29.52%）高于花器官变异（14.06%）。（3）部分性状存在极显著或显著相关性，株高与分枝数呈极显著负相关与叶长、叶宽和叶面积等呈显著正相关。（4）在欧式距离 10 处，20 个种源桃金娘可分为 A、B 和 C 3 类，A 类包含 8 个种源，该类种源表现为植株高大、分枝少、叶大和花大等特征。B 类包含有 11 个种源，该类种源表现为株高中等，叶较大和花中等等特征。C 类仅有 1 个种源，表现为植株低矮、分枝多、叶小和花小等特征。该研究为桃金娘新品种选育及目标性状研究提供了理论依据和物质材料。

关键词：桃金娘，表型性状，多样性，变异系数，聚类分析

中图分类号：Q944　　　　　　　　　　　**文献标识码：**A

Study on diversity of phenotypic traits of *Rhodomyrtus tomentosa* from different provenances

LIU Shu[1], MA Zhengbing[2*], YU Xiaoli[1], HE Yi[1]

(1. *School of Life Science*, *Huizhou University*, Huizhou 516000, Guangdong, China; 2. *Forestry Technology Extension Station of Huiyang*, Huizhou 516211, Guangdong, China)

Abstract: In order to explore and analyze the genetic diversity of phenotypic traits and the relationship among different provenances of *Rhodomyrtus tomentosa*, this paper took it from 20 different sources as the research object, and observed the phenotypic traits of vegetative organs and floral organs under the condition of homogenous garden cultivation. At the same time, the methods of ANOVA, variance analysis, Shannon-Wiener diversity index analysis, and cluster analysis were used in order to discuss the diversity of various phenotypic traits among different provenances. The results are as follows: (1) The averages of phenotypic traits of *R. tomentosa* from different provenances are significantly different ($P<0.05$), and the Shannon-Wiener diversity index of various source phenotypic traits is above 1.35, indicating rich phenotypic traits diversity. (2) The mean coefficient of variation of phenotypic traits within provenances ranged from 10.81%-63.75%, while those among provenances ranged from 13.08%-74.04%. Meanwhile, the variation among provenances (23.33%) is higher than that within provenances (19.79%), and the variation of vegetative organs (29.52%) is higher than that of floral organs (14.06%). (3) Correlation analysis shows that there are extremely significant or significant correlations among some phenotypic traits， in which the plant height of *R. tomentosa* has extremely significant negative correlations with the branch number and has significantly positive correlations with leaf length, leaf width as well as leaf area. (4) At 10 Euclidean distances, the 20 provenances of *Rhodomyrtus tomentosa* can be divided into

基金项目：广东省林业科技创新项目（2019KJCX031）；惠州学院教授、博士科研启动项目（2019JB039）[Supported by Guangdong Forestry Science and Technology Innovation Project (2019KJCX031); Professor and Doctor Research Initiation Project of Huizhou University (2019JB039)]。

第一作者：刘 舒（1989-），博士，讲师，主要从事园林生态学研究，（E-mail）wendaosheyu@126.com。

***通信作者：**马正兵，硕士，工程师，主要从事园林植物应用研究，（E-mail）kaidy12345@126.com。

three classes: A, B and C, and Class A contains eight provenances, which are characterized by tall plants, few branches, large leaves and large flowers. Class B contains 11 provenances, which are characterized by medium plant height, large leaves and middle flowers. Class C contains only one provenance, which is characterized by lower plant height, more branches, small leaves and flowers compared with the other two classes. The results of this study can provide theoretical basis and materials for the selecting and the breeding of new *R. tomentosa* varieties and the study of their target traits.

Key words: *Rhodomyrtus tomentosa*, phenotypic trait, diversity, coefficient of variation, cluster analysis

桃金娘（*Rhodomyrtus tomentosa*）为桃金娘科（Myrtaceae）桃金娘属（*Rhodomyrtus*），在中国天然分布的唯一一种灌木。桃金娘野生资源丰富，生态适应性强，广泛分布于热带亚热带地区如中南半岛、菲律宾、印度、斯里兰卡、马来西亚、日本、印度尼西亚等地，是泰国的民族植物之一(Geetha et al., 2010)。在中国，桃金娘分布于台湾、广东、广西、海南、云南、江西、湖南、福建、贵州等地(司书斌等，2012; 刘连海等，2013)。桃金娘不但是中国南方地区民间传统中草药，其果实、叶、根均可入药(戴卫波等，2014)，而且其果实酸甜可口，富含维生素，是极具开发价值的野生果树资源(韦霄等，2005)。此外，桃金娘还是我国少有的变色花卉种类，不但花期长，花多而密，而且植株四季常青，树形紧凑，是集花、叶、果于一体的野生乡土观赏植物(陈银铸，2008)，是园林中重要的乡土绿化材料。目前桃金娘资源尚未得到充分开发利用，还处于野生状态，国内一些学者从生物学特性、药用价值、营养价值等方面对野生植物桃金娘的开发与利用开展了研究，但关于桃金娘在育种改良方面则研究较少。

表型性状观测是研究植物遗传多样性最直观的方法(杨艳等，2019)，通过表型性状遗传多样性研究能够直观反映植物的遗传结构，了解其资源的丰富度。目前，关于桃金娘的遗传多样性的研究主要集中于运用分子标记法进行如相关序列扩增多态性（sequence-related amplified polymorphism, SRAP）(Ferriol et al., 2003)、简单重复序列间扩增（inter-simple sequence repeat, ISSR）(邱文武等，2021)、单核苷酸多态性（single nucleotide polymorphism, SNP ）(胡安琪，2020)等，而关于桃金娘表型性状多样性的研究则相对较少。

桃金娘的表型性状较多，但其营养器官和花器官等表型形态易观测、差异明显且结果较稳定，能较真实地表现物种的综合性状，对其进行观测和研究是开展桃金娘种质资源调查的基本方法，也是优良品种选育的最初途径。因此，本研究以 20 个桃金娘种源为研究对象，对其营养器官（苗高、分枝数、叶长、叶宽和叶面积）和花器官（花梗、花冠直径、花丝）进行测定，通过多重比较、变异分析、Shannon-Wiener 多样性指数、相关性分析和聚类分析等，拟探讨以下问题：（1）桃金娘种质资源表型多样性特点；（2）参试种源桃金娘遗传变异规律，以期为桃金娘种质资源的收集保存、开发利用和新品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

根据桃金娘在我国的分布情况以及实地调查的基础上，在福建、广东、广西、贵州、海南、湖南、江西等省（区）选取了 20 个有代表性的桃金娘种源地（表 1），采集了桃金娘成熟果实， 经处理后得到种子。将种子进行播种繁殖，半年后将各种源桃金娘幼苗移种到惠州学院实验种植基地（114° 42′ E、23° 05′ N），进行同质园种植实验。该实验地雨量充沛，阳光充足，气候温和，年降水量约 2 200 mm，年平均气温 22 ℃。本实验采用随机区组设计，各种源在每小区内分别种植 5 株，各植株按 0.5 m × 0.5 m 的株行距进行，每种源种植 3 个小区，视为 3 次重复。全生育期按常规方法进行水肥管理和病虫害防治。

表 1 供试桃金娘种源地信息

Table 1 Collection information of 20 test provenances of *Rhodomyrtus tomentosa*

种源 Provenance	来源地 Place of origin	经度 Longitude	纬度 Latitude
P1	福建连城 Liancheng, Fujian	116° 64' E	25° 33' N
P2	福建仙游 Xianyou, Fujian	118° 78' E	25° 40' N
P3	广东潮安 Chaoan, Guangdong	116° 60' E	23° 74 ' N
P4	广东连平 Lianping, Guangdong	114° 56' E	24° 41' N
P5	广东博罗 Boluo, Guangdong	114° 56' E	23° 56' N
P6	广东惠阳 Huiyang, Guangdong	114° 56' E	22° 88' N
P7	广东开平 Kaiping, Guangdong	112° 51' E	22° 15' N
P8	广东大埔 Dapu, Guangdong	116° 57' E	24° 39' N
P9	广东南雄 Nanxiong, Guangdong	114° 28' E	25° 09' N
P10	广东雷州 Leizhou, Guangdong	110° 29' E	20° 66' N
P11	广西右江 Youjiang, Guangxi	106° 56' E	23° 83' N
P12	广西桂平 Guiping, Guangxi	110° 12' E	23° 58' N
P13	广西临桂 Lingui, Guangxi	110° 16' E	25° 08' N
P14	广西象州 Xiangzhou, Guangxi	109° 94' E	24° 01' N
P15	广西陆川 Lucuan, Guangxi	110° 26' E	22° 37' N
P16	贵州荔波 Libo, Guizhou	108° 10' E	25° 31' N
P17	海南澄迈 Chengmai, Hainan	110° 05' E	19° 78' N
P18	海南临高 Lingao, Hainan	109° 63' E	19° 74' N
P19	湖南汝城 Rucheng, Hunan	113° 78' E	35° 39' N
P20	江西南康 Nankang, Jiangxi	114° 82' E	25° 67' N

1.2 方法

于 2021 年 3 月—6 月对所有供试植株的表型性状进行测定，使用直尺（精度 0.1 cm）对桃金娘株高（地面到植株最高点的距离，不含花序）进行测定，并统计各植株分枝数（茎基部 0~10 cm 总的枝条分枝数量）；随机选取完整且健康的成熟叶片 30 片测定叶长（叶片基部到叶尖的距离）和叶宽（叶片中部最宽处的宽度）。于花期从开花的植株中每种源选定 15 个花样本，测定花梗长（连接花朵和茎的短柄长度）、花径（花朵较长和较短直径）和花丝长（即雄蕊长度）。根据测量数据分别计算叶形指数（叶长/叶宽）和叶面积（叶长×叶宽×2/3）(田晨阳等，2021)。

1.3 数据处理和分析

采用 EXCEL 2010 软件整理数据，并对不同种源的表型性状进行了变异分析和 Shannon-Wiener 指数计算; 利用 SPSS 23.0 软件对各表型性状进行单因素方差分析，多重比较（Tukey HSD）、相关性分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同种源桃金娘表型性状比较

不同种源桃金娘表型性状测定结果如表 2 所示。20 个种源的株高、分枝数、叶长、叶宽、叶面积和叶形指数的均值分别为 45.04 cm、4.39、6.69 cm、3.17 cm、 14.49 cm^2 和 2.14，各种源总体上存在显著差异($P<0.05$)。其中株高较高的种源有 P1、P8、P10、P12、P15、P16 和 P17，其株高均高于 50 cm。分枝数多的种源为 P13 和 P6，分枝数均高于 6，分枝数较少的种源为 P1、P8、P11 和 P15 等，平均分枝数为 2。叶较长的种源为 P7、P8、P10、P12 、P15、P17 和 P18，其叶长均大于 7.0 cm；叶宽大于 3.4 cm 的种源有 P1、P8、P11、P12、P15、P16、 P17 和 P18，叶宽最小的种源为 P15。叶面积大的种源有 P1、P7、P8、P11、P12、P17 和 P18，叶面积最小的为种源 P13。综上所述，种源 P8、P12 和 P15 总体表现为株型高大、叶大，分枝数少；种源 P13 表现为植株矮小、叶小而分枝数较多的特点。比较分析各种源花器官性状，在多数种源间存在显著差异($P<0.05$)。其中花梗最长和花径最大的为种源 P14，与多数种源差异显

著(P＜0.05)，花梗最短的种源为 P6，花径最小的为种源 P13；种源 P3 具有较长的花丝，花丝长度可达 1.16 cm，最短花丝种源为 P16。

表 2 不同种源桃金娘表型性状比较

Table 2 Comparison of phenotypic traits of *Rhodomyrtus tomentosa* from different provenances

种源 Provenance	H (cm)	N_b	L_L (cm)	B_L (cm)	L_A
P1	50.1±0.86bcd	2.00±0.31c	6.64±0.21abcde	3.41±0.12 abcd	15.56±0.92abcd
P2	44.0±1.11def	5.21±0.98bcd	6.24±0.19cdef	2.87±0.09 efg	12.25±0.71de
P3	40.03±1.97ef	5.67±0.78ab	6.09±0.26cdef	2.97±0.15 cde	12.63±1.08de
P4	43.70±1.5def	3.37±0.87c	6.6±0.84abcde	2.89±0.12 efg	13.10±0.84bcde
P5	37.85±1.16f	5.33±0.73bcd	6.59±0.11abcde	2.89±0.07 efg	12.83±0.47bcde
P6	38.91±0.98f	6.02±0.78ab	5.89±0.15f	2.69±0.09 efg	10.76±0.57e
P7	45.58±0.83cde	2.98±0.77bcd	7.02±0.21abc	3.17±0.09 bcde	15.14±0.87abcd
P8	51.7±1.8abc	2.0±0.34c	7.19±0.15a	3.44±0.08 abcd	16.62±0.67abc
P9	42.2±0.73ef	4.60±0.80bcd	6.99±0.63abcd	3.11±0.08 bcde	14.69±0.63abcd
P10	50.65±1.28abc	3.33±0.57bc	7.1±0.21abc	3.17±0.12 abcd	15.40±0.96abcd
P11	49.71±1.43bcd	1.86±0.4c	6.57±0.17abcde	3.91±0.10 a	17.26±0.77a
P12	51.88±1.33ab	2.73±0.43bc	7.24±0.16a	3.45±0.10 abcd	16.85±0.77ab
P13	29.77±1.61g	8.07±1.03a	5.85±0.21f	2.41±0.10 g	9.77±0.72e
P14	42.65±1.65ef	4.31±0.6cd	6.28±0.19bcdef	2.89±0.87 efg	12.33±0.74de
P15	56.97±0.73a	2.07±0.38c	7.15±0.25ab	3.63±0.11 ab	17.49±0.94a
P16	53.5±1.03ab9	3.47±0.49cd	6.68±0.15abcde	3.52±0.09 abc	15.89±0.70abcd
P17	55.87±1.05ab	3.40±0.49cd	7.29±0.12a	3.60±0.08 abc	17.61±0.57a
P18	45.57±0.80cde	3.67±0.94cd	7.35±0.15a	3.62±0.10 ab	17.97±0.80a
P19	40.50±1.84ef	4.40±0.97cd	6.92±0.17abcde	3.15±0.08 bcde	14.71±0.67abcd
P20	39.00±0.85f	5.40±0.64bcd	6.01±0.14ef	2.66±0.08g	10.80±0.56e
均值 Average	45.04±0.48	4.39±0.19	6.69±0.04	3.17±0.03	14.49±0.20

种源 Provenance	L_L/ B_L	L_{Ped} (cm)	C_d1 (cm)	C_d2 (cm)	L_f (cm)
P1	1.96±0.03e	1.89±0.21de	4.11±0.27abcd	4.64±0.31abc	1.07±0.07abc
P2	2.18±0.04bcd	1.98±0.20cd	4.15±0.46abcd	4.53±0.33abc	1.02±0.14abcd
P3	2.11±0.06bcde	2.23±0.17abc	4.11±0.36abcd	4.46±0.35abcd	1.16±0.17a
P4	2.32±0.04ab	2.31±0.4abc	3.7±0.5cde	4.21±0.6bcd	1.03±0.2abcd
P5	2.30±0.04ab	1.87±0.36de	3.83±0.81bcde	4.35±0.5bcd	1.04±0.1abcd
P6	2.22±0.05bcd	1.73±0.50e	4.21±0.61abcd	4.54±0.56abc	1.13±0.17ab
P7	2.23±0.04bc	1.91±0.16de	4.5±0.37ab	4.81±0.3ab	1.01±0.12abcd
P8	2.11±0.04bcde	2.16±0.27abc	4.26±0.43abcd	4.61±0.38abc	1.01±0.12abcd
P9	2.26±0.03abc	1.91±0.21de	3.6±0.52de	3.95±0.45cd	0.96±0.1bcd
P10	2.27±0.04ab	2.04±0.22bcd	4.25±0.3abcd	4.55±0.27abc	1.08±0.07abc
P11	1.70±005f	2.21±0.21abc	3.79±0.8bcde	4.26±0.81bcd	0.98±0.07bcd
P12	2.12±0.04bcde	2.13±0.25abc	4.05±0.63abcd	4.49±0.64abc	1.03±0.09abcd
P13	2.46±0.05a	2.01±0.24bcd	3.29±0.63e	3.71±0.71d	0.99±0.15abcd
P14	2.19±0.04bcd	2.41±0.38a	4.71±0.43a	5.11±0.27a	1.07±0.08abcd
P15	2.00±0.07de	2.09±0.16bcd	4.38±0.35abc	4.84±0.43ab	1.14±0.13ab
P16	1.91±0.03ef	2.18±0.20abc	3.73±0.48cde	4.13±0.51bcd	0.88±0.13d
P17	2.04±0.04cde	2.25±0.21abc	4.31±0.43abcd	4.73±0.47ab	1.11±0.11ab
P18	2.05±0.04cde	2.39±0.26ab	4.38±0.43abc	4.82±0.36ab	0.92±0.21cd
P19	2.21±0.04bcd	1.95±0.24cd	4.01±0.63abcde	4.44±0.64abcd	0.97±0.12bcd
P20	2.28±0.04ab	2.27±0.28abc	3.99±0.3abcde	4.34±0.37bcd	1.03±0.09abcd
均值 Average	2.14±0.01	2.09±0.02	4.07±0.04	4.48±0.04	1.03±0.01

注：**H**. 株高; **N_b**.分枝数；**L_L**. 叶长; **B_L**. 叶宽; **L_L / B_L**. 叶形指数; **L_A**. 叶面积; **L_{Ped}**. 花梗长; **C_d1**. 短边花冠直径 1; **C_d2**. 长边花冠直径 2; **L_f**: 花丝.下同。 同列中不同的小写字母表示差异显著(P＜0.05) 。

Note: **H**. Height; **N_b**. Number of branches; **B_L**. Leaf width; **L_L / B_L**. Ratio of leaf length to leaf width; **L_A**. Leaf Area; **L_{Ped}**. Pedicel

length; **C_d**. Corolla diameter; **L_f**. Length of filament. The same below. Different lowercases in the same column indicate significant differences (P<0.05).

2.2 不同种源桃金娘表型性状变异分析

不同种源桃金娘各表型性状变异情况如表 3 所示，其营养器官和花器官性状在种源间和种源内均有不同程度的变异。在检测的各性状中，分枝数变异系数最大，变异系数为 45.79%～99.76%，均值为 63.75%，其中最大变异种源为 P18，最小变异种源 P20；叶形指数变异系数最小，为 7.58%～19.92%，均值为 10.81%，其中变异系数最大的种源为 P15，最小变异系数种源为 P16。花器官性状中变异系数最大的为花梗，变异系数为 7.44%～ 28.57%，均值为 13.55%，其中变异系数最大的种源为 P6，最小变异系数种源为 P15；变异系数最小为长边花径，为 5.23%～ 21.93%，均值为 11.39 %，其中变异系数最大的种源为 P5，最小变异系数种源为 P14。综合分析各性状变异系数，发现营养器官变异系数均值（29.52%）高于花器官变异系数均值（14.06%），种源间变异系数（23.33%）高于种源内变异系数（19.79%）。

表 3 不同种源桃金娘表型变异系数

Table 3 Coefficient of variation of *Rhodomyrtus tomentosa* from different provenances

种源 Provenance	H	N_b	L_L	B_L	L_A	L_L/B_L	L_{Ped}	C_d1	C_d2	L_f	均值 Average
P1	6.65	59.76	17.62	19.55	32.48	7.99	11.17	6.53	6.58	6.78	17.51
P2	9.43	70.23	16.82	18.00	31.96	9.37	10.32	10.99	9.86	13.46	20.04
P3	19.01	53.22	23.46	28.54	46.77	15.44	7.69	8.76	7.85	14.86	22.56
P4	13.28	90.25	15.19	22.18	35.22	9.90	15.24	13.71	15.05	15.8	24.58
P5	11.84	53.35	8.83	13.12	20.25	10.18	19.17	21.12	21.93	9.48	18.93
P6	9.71	48.85	13.53	17.55	29.05	12.07	28.57	14.57	12.4	15.18	20.15
P7	7.03	59.52	16.30	16.30	31.53	9.74	8.35	8.31	6.16	11.55	17.48
P8	13.47	65.47	11.46	13.18	22.05	11.21	12.35	10.19	8.35	12.15	17.99
P9	6.71	67.16	11.56	13.70	23.49	7.39	11.21	14.57	11.39	10.86	17.80
P10	9.82	65.79	15.84	21.24	34.2	10.82	10.8	7.00	5.87	6.58	18.80
P11	10.74	81.41	14.37	14.70	24.36	16.2	9.52	21.05	19.01	7.15	21.85
P12	9.78	61.01	12.40	15.21	25.13	9.89	11.57	15.63	14.19	8.71	18.35
P13	20.94	49.25	19.51	22.48	40.3	10.04	11.71	19.13	19.02	14.76	22.71
P14	13.92	50.49	15.71	16.42	30.61	9.57	15.76	9.12	5.23	7.06	17.39
P15	4.98	71.92	18.62	15.94	29.00	19.92	7.44	7.92	8.83	11.39	19.60
P16	9.39	54.37	12.20	14.30	24.29	7.58	9.13	12.8	12.41	15.14	17.16
P17	7.29	55.36	8.86	12.01	17.69	9.98	9.47	9.87	9.92	9.94	15.04
P18	6.76	99.76	11.53	15.45	24.44	10.18	11.07	9.85	7.53	22.58	21.92
P19	17.61	84.95	13.62	13.49	25.09	9.57	12.1	15.81	14.32	12.56	21.91
P20	8.48	45.79	12.98	16.50	28.41	10.57	12.44	7.84	8.57	8.61	16.02
均值 Average	11.08	63.75	14.75	17.37	29.39	10.81	13.55	12.62	11.39	13.2	19.79
Cv1	18.42	74.04	16.85	21.35	33.00	13.46	15.12	14.23	13.08	13.79	23.33

注：Cv1 表示种源间变异系数。

Note: Cv1 represents the coefficient of variation among provenances.

2.3 不同种源桃金娘表型性状多样性分析

不同种源桃金娘表型性状 Shannon-Wiener 多样性指数如表 4 所示，检测的表型性状中，均存在丰富的多样性，且不同性状之间的多样性水平差异较大。其中叶面积和叶形指数的 Shannon-Wiener 多样性指数最大，均值分别为 3.45 和 3.32，花丝、花梗和分枝数的 Shannon-Wiener 多样性指数较小，均值分别为 1.35、1.69 和 1.79，其余性状多样指数均值在 2.04～2.91 之间。

表 4 不同种源桃金娘表型性状的 Shannon-Wiener 多样性指数

Table 4 Shannon-Wiener diversity index of *Rhodomyrtus tomentosa* from different provenance

种源 Provenance	H	N_b	L_L	B_L	L_A	L_L/B_L	LPed	C_d1	C_d2	L_f
P1	2.25	1.43	2.89	2.60	3.26	3.26	1.55	1.61	2.07	1.00
P2	2.44	1.97	2.94	2.57	3.4	3.29	1.86	2.36	2.26	1.66
P3	2.52	1.49	2.97	2.92	3.4	3.36	1.46	2.06	2.03	1.84

P4	2.15	1.68	3.12	2.79	3.4	3.31	1.71	2.34	2.08	1.55
P5	2.40	1.86	2.74	2.44	3.31	3.31	1.77	2.25	2.34	1.32
P6	2.27	2.21	2.82	2.60	3.36	3.36	1.93	2.21	2.34	1.62
P7	2.30	1.99	3.04	2.71	3.31	3.26	1.53	2.08	1.97	1.16
P8	2.40	1.56	2.83	2.30	3.25	3.25	1.86	2.25	1.93	1.49
P9	2.52	1.90	2.79	2.60	3.40	3.40	1.71	1.93	2.14	1.20
P10	2.34	1.84	2.95	2.78	3.4	3.4	1.49	1.73	1.67	0.97
P11	2.44	1.45	2.90	2.78	3.36	3.31	1.81	2.24	2.30	0.99
P12	2.30	1.71	2.99	2.54	3.4	3.40	1.74	2.27	2.30	1.24
P13	2.62	2.21	3.06	2.75	3.40	3.36	1.56	1.56	1.91	1.32
P14	2.56	1.82	2.77	2.65	3.26	3.20	1.75	1.48	1.48	1.00
P15	2.40	1.69	2.92	2.61	3.37	3.32	1.54	1.86	1.99	1.25
P16	2.52	1.59	2.77	2.47	3.26	3.15	1.58	2.09	1.91	1.45
P17	2.52	1.81	2.81	2.57	3.36	3.36	1.68	2.03	2.34	1.43
P18	2.34	1.84	2.88	2.70	3.40	3.40	1.74	2.34	2.21	1.77
P19	2.62	2.03	3.11	2.63	3.36	3.36	1.95	2.15	2.18	1.45
P20	2.34	1.80	2.89	2.47	3.26	3.26	1.64	1.93	2.34	1.24
均值 Average	2.41	1.79	2.91	2.62	3.45	3.32	1.69	2.04	2.09	1.35

2.4 不同种源桃金娘表型性状相关性分析

不同种源桃金娘各表型性状相关系数见表 5，结果显示，供试种源桃金娘部分性状存在极显著（P<0.01）或显著（P<0.05）的正相关或负相关关系，表型性状间存在相互影响。如株高与分枝数呈极显著负相关关系（P<0.01），与叶长、叶宽和叶面积等成显著正相关关系；分枝数与叶长、叶宽和叶面积成显著负相关；花径与花梗和花丝呈显著正相关；各营养器官性状与花器官性状相关性不显著。

表 5 不同种源桃金娘表型性状 Pearson 相关性分析

Table 5 Analysis on Pearson correlations among phenotypic traits of *Rhodomyrtus tomentosa* from different provenances

表型性状 Phenotypic trait	表型性状间的相关系数 Correlation coefficient among phenotypic traits									
	H	N_b	L_L	B_L	L_A	L_L/B_L	LPed	Cd1	Cd2	L_f
H	1									
N_b	-0.391**	1								
L_L	0.277**	-0.163*	1							
B_L	0.384**	-0.299**	0.735**	1						
L_A	0.36**	-0.26**	0.909**	0.941**	1					
L_L/B_L	-0.283**	0.284**	0.10	-0.651**	-0.375**	1				
LPed	0.119	-0.152*	0.094	0.161	0.142	-0.137*	1			
Cd1	0.096	-0.079	0.02	0.118	0.086	-0.164*	0.15*	1		
Cd2	0.123	-0.089	0.024	0.144*	0.103	-0.198	0.198**	0.885**	1	
Lf	0.038	0.012	-0.087	-0.078	-0.091	0.007	0.025	0.225**	0.277**	1

* . P<0.05; **. P<0.01。

2.5 不同桃金娘种源表型性状聚类分析

基于营养器官和花器官的表型性状观测，采用欧式距离对不同种源桃金娘进行聚类分析，结果如图 1 所示。在欧式距离 10 处，可将 20 个种源分为 A、B 和 C 3 类；其中 A 类包括广东大埔 P8，广西桂平 P12、右江 P11、陆川 P15，福建连城 P1，海南澄迈 P17、临高 P18 和贵州荔波 P16 等 8 个种源。这些种源的株高、叶长、叶宽、叶面积、花梗和花径等均值均高于 B 类和 C 类种源。B 类种源包括广东南雄 P9、开平 P7、雷州 P10、博罗 P5、惠阳 P6、连平 P4、潮安 P3，湖南汝城 P19，福建仙游 P2，江西南康 P20 和广西象州 P14 等 11 个种源，该类种源总体特征表现为株高中等，分枝数较多，叶片、花茎较大等特点。 C 类则仅包括广西临桂 P131 个种源，该种源除分枝数高于 A 类和 B 类种源外，其他性状指标均值均低于 A 类和 B 类。

在欧式距离 7.5 处，A、B 又可进一步分成不同的亚类，其中 A 类分成 A1 和 A2 个亚类，B 类分成 B1 和 B2 2 个亚类。A1 亚类种源包括广东大埔 P8，广西桂平 P12、陆川 P15，福建连城 P1，海南澄迈

P17、临高 P18 等 6 个种源，其总体表型特征表现为植株高大、分枝少、叶和花较大；A2 亚类种源包括广西右江 P11 和贵州荔波 P16 2 个种源，其表型总体特征表现为植株较高、分枝数少、叶较宽、花小、花丝短。B1 类包括广东南雄 P9、开平 P7、雷州 P10 和湖南汝城 P19 等种源，表现为叶较长，叶面积较大；B2 类包括福建仙游 P2、广东博罗 P5、惠阳 P6、连平 P4、潮安 P3、江西南康 P20 和广西象州 P14 等种源，表现为植株较低矮，分枝数较多，花较小。

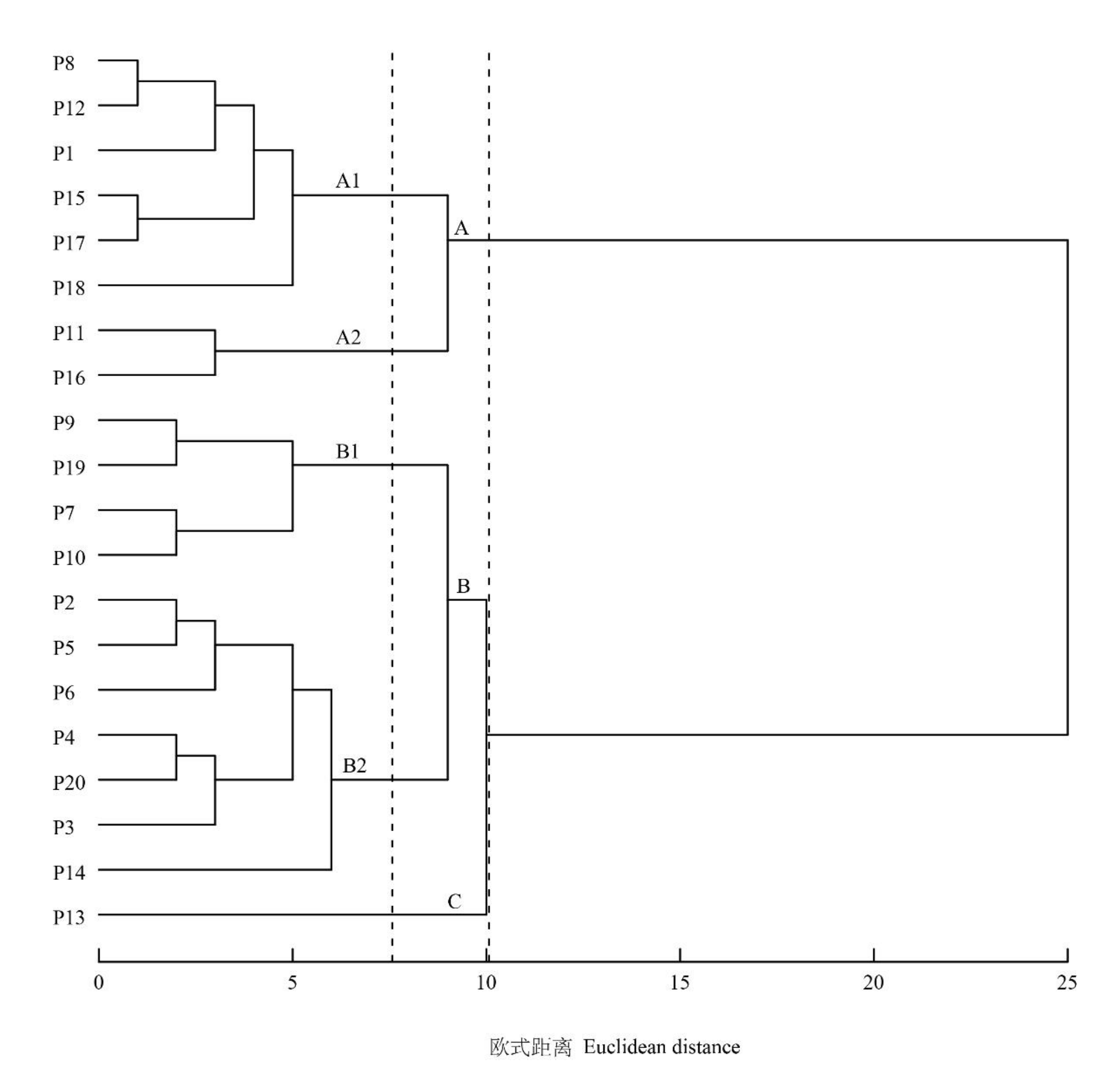


图 1 基于表型性状的不同种源桃金娘聚类图

Fig. 1 Cluster analysis result of different provenances based on phenotypic characters of *Rhodomyrtus tomentosa*

3 讨论

表型性状是植物一切外部性状的综合，表型变异是植物遗传变异最直接的表现，反映了物种的遗传多样性与遗传变异格局(张睿鹂，2008)。本研究表明，供试的桃金娘种源表型性状变异较大，具有丰富的表型多样性。在检测的 10 个表型性状中所有性状变异系数均值均大于 10%，变异幅为 10.81%~63.75%。研究表明，当变异系数高于 10%时，表示样本差异较大，变异系数越大，表型性状差异越明显，遗传变异可能性越大(李洪立等，2019)。由此可知，本研究中供试的不同种源桃金娘具有丰富的表型形态，遗传多样性高。植物的表型性状除受自身遗传因素影响外，还受外界环境的影响，如不同表型性状对环境的不同适应能力，可导致同一种源内可能存在多种变异类型(何涛等，2021)。曾斌等 (2008)研究自然居群类

新疆野扁桃 (*Amygdalus ledebouriana*) 表型性状变异发现，其新梢长宽比在所有性状指标中变异最大，认为可能原因是该性状对环境影响反应最为敏感。在本研究中发现除株高外，其植株分枝量、叶长、叶宽、叶面积等营养器官性状变异均高于花器官性状，这表明营养器官性状较花器官受环境影响较大，更易发生变异，该结果与何涛等（2021）研究较为一致。此外，本研究还发现种源间各表型变异系数均值均大于种源内变异系数均值，表明桃金娘种源间表型性状存在较大变异，且变异以种源间变异为主 。

种源表型性状 Shannon-Wiener 多样性指数分析发现，表型多样性指数均值均在 1.35 以上，叶面积多样性指数最高（3.45）。变异系数和多样性指数是反映生物多样性的重要指标，但两者之间变化规律却并不一致，如分枝数变异系数最大（74.04%），但多样性指数则较小（1.79）；叶形指数变异系数较小（13.46%），而多样性指数则较大（3.32）。这两个指标变化规律的不一致也揭示了变异系数和多样性指数所反映的内容不一样，表型性状变异系数反映了某性状数据的离散程度，其大小与性状的变异范围呈正相关，变异系数越大表明性状的变异程度越大，而 Shannon-Wiener 多样性信息指数是反应种质资源间多样性的一个重要指标，它的值越高，表明表型性状的多样性越丰富，而两者之间不存在相关性(李华锋等，2016)。在乔玲等(2015)研究绿豆农艺性状遗传多样性发现，变异系数较高的性状具有较低的多样性指数，变异系数较低的性状具有较高的多样性指数。

植物在适应和演化过程中，不同形态性状之间往往通过相互调节达到适应环境的目的，一个形态性状的改变亦直接或者间接导致其他性状的变化，因此，植物不同性状之间常存在相互的联系(杨志玲和杨旭, 2011)。在本研究中部分性状存在极显著或显著相关，然而，营养器官性状与花器官性状之间相关性则较低，这可能与营养器官性状易受环境影响而花器官较为稳定有关。

通过对桃金娘种源进行聚类分析表明，在欧式距离 10 处，供试的 20 个桃金娘种源被分为 A、B 和 C 3 类。A 类种源总体表现为植株高大，分枝少，叶面积大，花梗长和花大等特点，在园林绿化中可作为选育观花和观赏单株的新品种优良资源。B 类种源表现为株高中等，分枝较多，叶片和花较大，在园林绿化中适用于选育绿篱类型，C 类种源主要表现为植株低矮、分枝多，叶小和花小，在园林绿化中适用于选育优质地被。聚类分析结果表明，各种源表型并未完全按地理分布而聚类，这结果与邱文武等(2021)研究结果较为一致，可能原因与桃金娘为适应局部环境变化有关，由于环境变化导致其基因发生变化，为了更好地适应当地环境，通过自身繁育系统将这个变异基因最终保存下来(司书斌等，2012；高张莹等，2017)；同时，也可能与桃金娘的传播方式有关，桃金娘主要借助鸟类进行传播，这增大了种质的跨区域分布(韦明思等，2004)。根据聚类结果可将桃金娘野外种源地进行区域划分，将表型相近的种源地归为一个区域，可为桃金娘目标性状收集和野生种源差异保护提供理论依据。

丰富的种质资源可为植物新品种选育提供良好的遗传基础。本研究表明，不同种源桃金娘表型性状具有丰富的多样性，营养器官和花器官性状都在存在明显变异，但主要表现为营养器官性状变异高于花器官性状变异，种源间变异高于种源内变异。不同种源桃金娘在株高、分枝、叶片和花等性状具有不同的特性，由此，可根据园林用途和观赏目标对桃金娘种源进行定向选择，针对育种目标进行资源优化组合，培育出不同利用价值的优良品种。

参考文献：

DAI WB, MEI QX, ZENG CY, 2014. Research on materia medica of *Rhodomyrtus tomentosa*[J]. J Chin Med Mat, 37(3): 520-524. [戴卫波，梅全喜，曾聪彦，2014. 桃金娘的本草考证[J]. 中药材，37(3)：520-524.]

FERRIOL M, PICO B, NUEZ F, 2003. Genetic diversity of a germplasm collection of *Cucurbita pepo* using SRAP and AFLP markers[J]. Theor Appl Genet, 107(2): 271-282.

GAO ZY, ZHANG HF, CHENG GP, et al., 2017. Fruit stone morphology and geographic variation in Juglans mandshurica populations[J]. Chin J Appl Environ Biol, 23(4): 609-615. [高张莹，张海峰，陈国平，等，2017. 核桃楸种群果核形态及地理变异[J]. 应用与环境生物学报，23 (4)： 609-615.]

Geetha KM, Sridhar C, Murugan V, 2010. Antioxidant and healing effect of aqueous alcoholic extract of *Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk on chronic gastriculcers in rats[J]. J Pharm Res, 3: 2860-2862.

HE T, FAN XL, LU L, et al., 2021. Phenotypic trait diversity of *Dendrobium nobile* from different provenances and their correlations with geographical factors[J]. J Plant Resour Environ, 30(2): 1-11. [何涛， 樊小莉，鲁璐，等， 2021. 不同种源石斛表型性状多样性及其与地理因子的相关性[J]. 植物资源与环境学报，30(2)：1-11.]

HU AQ, 2020. Genetic diversity of *Rhodomyrtus tomentosa* germplasm resources based on SNP[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University. [胡安琪，2020. 基于 SNP 的桃金娘种质资源遗传多样性研究[D]. 湛江：广东海洋大学.]

JIANG XB, GONG BC, LIU QZ, et al., 2014. Phenotypic diversity of important agronomic traits of local cultivars of Chinese Chestnut[J]. Acta Hortic Sin, 41(4):641-652. [江锡兵，龚榜初，刘庆忠，等， 2014. 中国板栗地方品种重要农艺性状的表型多样性[J]. 园艺学报，41(4)：641-652.]

LI HF, TENG J, YANG JG, et al., 2016. Genetic diversity and cluster analysis of leaf phenotypic traits of Liannan cultivated ancient tea[J]. Chin Sci Agric Bull, 32(36):109-114. [李华锋，滕杰，杨家干，等， 2016. 连南栽培型古茶树资源叶片表型性状遗传多样性及聚类分析[J]. 中国农学通报，32(36)：109-114.]

LI HL, HU WB, HONG QM, et al., 2019. Genetic diversity analysis of fruit traits of *hylocereus undatus* germplasm[J]. J Trop Subtrop Bot, 27(4):432-438. [李洪立，胡文斌，洪青梅，等， 2019. 火龙果种质资源果实特性的遗传多样性分析[J]. 热带亚热带植物学报，27(4)：432-438.]

LIU LH, DAI SP, HE MM, 2013. Propagation and cultivation of *Rhodomyrtus tomentosa*[J]. Guangdong For Sci Technol, 29(2):49-52. [刘连海，代色平，贺漫媚， 2013. 桃金娘繁殖与栽培技术初探[J]. 广东林业科技，29(2)：49-52.]

PAN SQ, LI B, DENG Y, et al., 2019. The correlation analysis between trace elements in *Ginkgo biloba* and soil nutrient factors[J]. Hunan For Sci Technol, 46(4):1-10. [潘胜强，李彬，邓玉，等， 2019. 白果中微量元素与土壤营养因子相关性分析[J]. 湖南林业科技，46(4)：1-10.]

QIAO L, CHEN HL, WANG LX, et al., 2015. Genetic diversity of foreign *mungbean germplasm* resources by agronomic characters[J]. J Plant Gen Resourc, 16(5)：986-993.[乔玲，陈红霖，王丽侠，等， 2015. 国外绿豆种质资源农艺性状的遗传多样性分析[J] . 植物遗传资源学报，16(5)：986-993.]

QIN JF, 2011. Research status and development prospect of *Rhodomyrtus tomentosa*[J]. Chin Trop Agr, (2): 63-64. [覃杰凤，2011. 桃金娘的研究现状及发展前景[J]. 中国热带农业，(2)：63-64.]

QIU WW, GUO LF, YANG XY, et al., 2021. SRAP analysis on relationship of Guangxi wild *Rhodomyrtus tomentosa*[J]. Mol Plant Breeding, 19(3): 899-904. [邱文武，郭凌飞，杨祥燕，等， 2021. 广西野生桃金娘亲缘关系的 SRAP 分析[J]. 分子植物育种，19(3)：899-904.]

SI SB, CAO FX, PENG JQ, et al., 2012. Determination of northern distribution boundary and relationship with climate parameters for *Rhodomyrtus tomentosa* in China[J]. J CS Univ For & Technol, 323):162-165. [司书斌，曹福祥，彭继庆，等， 2012. 中国桃金娘群落分布北线的划定及其与气候因子的关系[J]. 中南林业科技大学学报，32(3)：162-165.]

TIAN CY, LIAN QY, JIANG JY, et al., 2021. Analysis on the genetic diversity of *Xanthoceras sorbifolium* Bunge from different provenances[J]. Mol Plant Breed: 1-15. [田晨阳，连琼宇，姜继元，等， 2021. 基于形态学性状的不同种源文冠果遗传多样性分析[J]. 分子植物育种: 1-15.]

WEI X, WEI JQ, JIANG YS, et al., 2005. An investigation on wild fruit plants resource in Guangxi[J]. Guihaia, : 25(4): 314-320. [韦霄，韦记青，蒋运生， 等， 2005. 广西野生果树资源调查研究[J]. 广西植物，25(4)：314-320.]

WEI SM, CHEN ZH, REN H, et al., 2004. Seed dispersal of the pioneer shrub *Rhodomyrtus tomentosa* by frugivorous birds and ants[J]. Biodivers Sci, 12(5): 494-500.[韦明思，陈章和，任海，等，2004. 鸟类和蚂蚁对桃金娘种子传播的初步研究[J]. 生物多样性，12 (5): 494-500.]

YANG Y, TANG YX, TANG J, et al., 2019. Genetic diversity of phenotypic and growth characters of southern

type of *Populus deltoides*[J]. J CS Univ For & Technol, 39(7): 31-36. [杨艳，汤玉喜，唐洁，等，2019. 南方型黑杨种质资源表型及生长性状遗传多样性分析[J]. 中南林业科技大学学报，39(7)：31-36.]

YANG ZL and YANG X，2011．Study on germplasm resources of *Magnolia officinalis* [M]．Beijing：China Forestry Press：80-90．[杨志玲和杨旭，2011．厚朴种质资源研究 [M]．北京 ：中国林业版社：80-90.]

ZENG B，LUO SP，LI J，et a1．2008．Morphological variations in natural populations of *Amygdalus ledebouriana* [J]．Biodivers Sci, 16(5)：484-491．[曾斌 ，罗淑萍，李疆 ，等，2008．新疆野扁桃天然居群形态变异的研究 [J]．生物多样性，16(5)：484-491.]

ZHANG RL, JIA Y, ZHANG QX, 2008．Phenotypic variation of natural populations of *Primula denticulate* ssp．*Sinodenticulata* [J]．Biodivers Sci，16 (4)：362-368．[张睿鹂 ，贾茵 ，张启翔，2008．滇北球花报春天然群体表型变异研究 [J]．生物多样性，l6(4)：362-368.]